

УДК 621.641

УЧЕТ ЗАПАСА ГАЗА В ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ

И.Н. ШАЙКОВСКИЙ, С.В. БЕРЕСТНЕВ
(Представлено: А.Н. ЯНУШОНОК)

Приведен алгоритм по определению запаса газа в газотранспортной системе. Произведена оценка влияния параметров окружающей среды на оценку точности определения запаса на примере газопровода Т-М-И КС «Смоленск» - КС «Крупки».

Введение. Газотранспортная система (ГТС), пролегающая по территории Республики Беларусь, является важным транспортным звеном, интегрированным в сеть магистральных газопроводов Российской Федерации и Евросоюза (ЕС), связующим потоки газа от поставщиков к потребителям. Диспетчерский контроль ГТС подразумевает решение ряда задач, одной из которых является учет количества транспортируемого газа и в развитие этой задачи – управление запасом газа в ГТС. Как показывает практика эксплуатации учет запаса газа в газотранспортной системе балансовым методом, т.е. на основании данных узлов учета на входе и выходе из/в систему даже на относительно небольших промежутках времени (календарный месяц) ведет к значительной ошибке за счет накапливания погрешности измерений. В связи с этим в ПГУ разработан программный комплекс, позволяющий расчетным путем на основании определения режимов работы ГТС, определять запас газа по данным телеметрии. В результате внедрения данного метода определения запаса решена проблема накапливания погрешностей измерения.

Основная часть. Учет количества транспортируемого газа в газотранспортной системе является важной диспетчерской задачей. Создание программного комплекса (ПК) по расчету запаса газа в ГТС, который внедрен на белорусском участке магистральных газопроводов (МГ) позволил повысить оперативность управления и точность данных по системе магистральных газопроводов, которые пролегают по территории Беларуси. Решение данной задачи является следствием решения более общей задачи: определения режимов транспорта газа по газотранспортной системе при целом ряде определенных критериев и параметров для каждого участка МГ по вычислительному алгоритму. Одновременно необходимо учитывать наличие взаимосвязи некоторых параметров друг от друга, характер этих связей и общую структуру ГТС, определяющуюся физической конфигурацией сети, что обусловлено спецификой рассматриваемой предметной области

ГТС представляет собой совокупность соединенных между собой в соответствии с технологической схемой объектов (линейные участки (ЛУ), компрессорные цеха (КЦ), газораспределительные станции (ГРС), пункты редуцирования газа, краны регуляторы и др.). В ГТС выделяются активные элементы, т.е. такие объекты, для которых управляемыми величинами являются изменения давления и (или) температуры между их входом и выходом (КЦ, пункты редуцирования газа и т.п.). При расчете запаса газа режим работы активных элементов ГТС считается заданным и учитывается при моделировании известными замерами входных и выходных давлений и (или) температур газа в местах их расположения в схеме. Это позволяет исключить из расчета модели этих объектов.[2]

На всех входах и выходах ГТС задаются граничные условия – значения замеров давлений и температур, и только при их отсутствии — значения замеров расходов газа.

Математическая модель, описывающая стационарное движение газа по ГТС, состоит из уравнений движения газа по ЛУ и балансовых уравнений по расходу в узлах:

$$\sum_{i \in L_r^+} q_i - \sum_{i \in L_r^-} q_j = q_r, \quad (1)$$

где q_i – расход по i -му ЛУ, млн $m^3 / сут$; q_j – расход по j -му ЛУ, млн $m^3 / сут$; L_r^+ – множество ЛУ, входящих в r -й узел; L_r^- – множество ЛУ, выходящих из r -го узла; q_r – заданный приток (отбор) газа в r -й узел, млн $m^3 / сут$; r – множество промежуточных узлов.

Дополнительно для расчета задаются:

а) замеры давлений во всех узлах, где имеются замеры давлений:

$$P_{j1} = P_{j1зам} \quad j_1 = \overline{1, J_1}, \quad (2)$$

где J_1 – количество узлов с замерами давлений; P_{j1} – давление в j_1 -м узле с замерами давлений; $P_{j1зам}$ – замер давления в j_1 -м узле с замерами давлений;

б) замеры расходов во всех узлах, где имеются замеры расходов и отсутствуют замеры давлений:

$$q_{j_2} = q_{j_2 \text{ зам}} \quad j_2 = \overline{1, J_2}, \quad (3)$$

где J_2 – количество узлов с замерами расхода; q_{j_2} – давление в j_2 -м узле с замерами расходов; $q_{j_2 \text{ зам}}$ – замер расхода в j_2 -м узле с замерами расходов;

в) замеры температур во всех узлах, где имеются замеры температур:

$$T_{j_3} = T_{j_3 \text{ зам}} \quad j_3 = \overline{1, J_3}, \quad (4)$$

где J_3 – количество узлов с замерами температур; T_{j_3} – температура в j_3 -м узле с замерами температур; $T_{j_3 \text{ зам}}$ – замер температуры в j_3 -м узле с замерами температур.

Температуру газа T_x в любой точке ЛУ вычисляется по формуле [1]:

$$T_x = T_{cp} + (T_n - T_{cp})e^{-ax} - D_i \frac{P_n^2 - P_k^2}{2axP_{cp}} (1 - e^{-ax}), \quad (5)$$

где T_{cp} – температура грунта на глубине заложения оси газопровода, К; T_n – температура газа в начале линейного участка газопровода, К; d_n – наружный диаметр газопровода, мм; K_{cp} – средний на участке общий коэффициент теплопередачи от газа в окружающую среду, Вт/м²·К; C_p – средняя изобарная теплоемкость газа, кДж/кг·К; D_i – среднее на участке значение коэффициента Джоуля – Томсона, К/МПа; q – расход газа по ЛУ, млн.м³/сут.; Δ – относительная плотность газа по воздуху; x – протяженность рассчитываемого участка газопровода, км.; a – коэффициент Шухова.

Уравнение движения газа по ЛУ имеет вид:

$$P_n^2 - P_k^2 (1 + a\delta h) = \frac{\lambda \Delta T_{cp} Z_{cp} L (1 + \frac{a\delta h}{2})}{0,1060028 \cdot 10^{-10} d_{вн}^5} \cdot q \cdot |q|; \quad (6)$$

где q – расход газа по участку, млн. м³/сут.; $d_{вн}$ – внутренний диаметр трубы, мм; P_n, P_k – абсолютные давления в начале и конце участка газопровода, соответственно, МПа; Δ – относительная плотность газа по воздуху; T_{cp} – средняя по длине участка газопровода температура транспортируемого газа, К; Z_{cp} – средний по длине газопровода коэффициент сжимаемости газа, безразмерный; L – длина участка газопровода, км; λ – коэффициент гидравлического сопротивления участка газопровода, безразмерный.

Модель ЛУ включает взаимосвязанный гидравлический и тепловой расчеты. Для упрощения решения эти расчеты разделены. Укрупненный алгоритм расчета выглядит следующим образом, который разделен на следующие этапы:

1. Предполагаем известным тепловой режим (например: можно задать константой температуру газа по всей системе и т.п.).

2. Задана нелинейная систему уравнений 1-6, которая описывает гидравлический режим ГТС. Решение этой системы дает распределение расходов и давлений по участкам ГТС.

3. Во всех узлах ГТС, где есть замеры температуры, задаем температуру газа в нашу модель.

4. По формуле (5) осуществляется расчет температуры газа в конце каждого ЛУ, для которого определена температура в начале ЛУ, с одновременным пересчетом коэффициента гидравлического трения λ .

5. Выполняется пересчет температуры газа в тех узлах сети, в которых известны температуры всех входящих в него потоков газа и отсутствуют замеры температур по формуле:

$$t_r = \frac{\sum_{i \in L_r^+} t_{ir} \frac{|Q_i| + Q_i}{2} + \sum_{j \in L_r^-} t_{jr} \frac{|Q_j| - Q_j}{2} + t_{qr} \frac{|q_r| + q_r}{2}}{\sum_{i \in L_r^+} \frac{|Q_i| + Q_i}{2} + \sum_{j \in L_r^-} \frac{|Q_j| - Q_j}{2} + \frac{|q_r| + q_r}{2}}, \quad (7)$$

где t_r – температура газа r -м узле после смешивания; t_{ir} – температура в конце входящего в r -й узел i -го ЛУ; t_{jr} – температура в начале выходящего из r -го узла j -го ЛУ; t_{qr} – температура газа заданного притока (отбора) в r -й узел.

6. Вычисления на этапах 4-5 повторяются до тех пор, пока не будут рассчитаны температуры во всех узлах сети. В случае если граничные условия по температуре заданы не на всех входах, то можно применять модели температурного расчета, определяющие температуру в начале ЛУ по известной температуре в конце. Если замеров температур недостаточно для определения расчетных температур во всех

узлах ГТС – для ЛУ с неизвестными температурами в начале и конце при расчете запаса газа T_{ij}^{cp} в формуле (4) считается равной температуре грунта.

7. Остановка итерационной процедуры выполняется по критерию стабилизации с требуемой точностью давлений и температур во всех узлах системы.

8. Если критерий остановки выполнен, то решение получено, если нет, то осуществляется переход к этапу 2.

При расчетах запаса газа во многих случаях могут отсутствовать замеры давлений и температур в начале и конце ЛУ из-за их расположения в промежуточных точках МГ. В таком случае необходимо рассчитывать отсутствующие параметры в результате решения системы уравнений, описывающих движение газа по МГ. При этом движение газа считается стационарным и неизотермическим.

После определения режимов движения газа в ГТС может быть определен запас газа как сумма объемов газа, находящихся в каждом элементе ГТС.

$$Q = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^{N_i} Q_{ij} \quad (8)$$

где K – число расчетных участков; N_i – число линейных участков (ЛУ), из которых состоит i -й расчетный участок; Q_{ij} – запас газа на j -м линейном участке i -го расчетного участка.

Для определения запаса газа на линейном участке при стандартных условиях используется классическая формула (млн. м³):

$$Q_{ij} = \frac{V_{ij} \cdot P_{ij}^{cp} \cdot T_{cm}}{P_{cm} \cdot Z_{ij}^{cp} \cdot T_{ij}^{cp} \cdot 10^6} \quad (9)$$

где V_{ij} – геометрический объем j -го линейного участка газопровода на i -м расчетном участке, м³; P_{ij}^{cp} – среднее давление j -го линейного участка газопровода на i -м расчетном участке, МПа; Z_{ij}^{cp} – средний коэффициент сжимаемости j -го линейного участка газопровода на i -м расчетном участке; T_{ij}^{cp} – средняя температура газа j -го линейного участка газопровода на i -м расчетном участке; K ; $T_{cm} = 293,15 \text{ K}$ – температура газа при стандартных условиях [1]; $P_{cm} = 0,101325 \text{ МПа}$ – давление газа при стандартных условиях [1].

Значительную сложность при решении данной задачи представляет собой теплотехнический расчет, так как магистральный трубопровод не является изолированной системой, и режим движения газа в общем случае является нестационарным и политропным. Теплообмен газа с окружающей средой будет определяться следующими критериями: состав грунта и его состояние (влажность), мощность и плотность снегового покрова, скорость ветра. Определение и контроль данных параметров представляет собой сложную и дорогостоящую задачу. В связи с этим нами была предпринята попытка оценки вклада данных факторов в возможную погрешность, которая может возникнуть при определении запаса газа. В качестве модельного был выбран газопровод Т-М-И КС «Смоленск» – КС «Крупки». Для данного газопровода по диспетчерским данным о давлениях и температурах в начальном и конечном пунктах определен режим движения газа и его запас для ряда случаев:

- определен эталонный запас газа по справочным данным о распределении грунтов вдоль трассы газопровода;
- определен запас газа, по известной модели, позволяющей оценить среднее значение коэффициента теплопроводности смешанного грунта;
- определены запасы газа для газопровода, пролегающего в грунтах с максимальной и минимальной теплопроводностью.[3]

Выводы. Разработанный алгоритм определения запаса газа в ГТС РБ положен в основу ПК по расчету запаса газа в ГТС. Окончательное решение по проведению точных расчетов на основе детального изучения данных о структуре и состоянии грунтов вдоль трассы газопровода должно определяться в результате экономических расчетов целесообразности проведения работ по изучению состава грунтов и разработки системы контроля их состояния.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вегера, А.И. Трубопроводный транспорт и хранение газа : учеб.-метод. комплекс / А.И. Вегера. – Новополоцк : ПГУ, 2005. – 316 с.
2. Влияние теплофизических свойств грунтов на запас газа в магистральном газопроводе / А.П. Андриевский [и др.] // Вестн. Полоцк. гос. ун-та.
3. Борздов, А.Л. Алгоритм расчета запаса газа в газотранспортной системе / А.Л. Борздов.